

## 討 2 焼結鉱粒度別装入法によるオールコークス操業の改善

新日本製鐵(株) 室蘭製鐵所 須沢昭和 三国 修 ○奥野嘉雄  
原 義明 今井 徹  
本 社 高域俊介

### 1. 緒 言

製鉄所の脱オイル対策として、オールコークス操業が各所の高炉で実施されている。この操業はコスト低減に大きく寄与するが、反面、コークス比高による石炭需要増やエネルギー消費量増をもたらしている。一方、最近では省エネルギー面から後工程との直結化が強く推進されつつある。このような背景のなかで、オールコークス操業に対して一層のコークス比減と操業の安定が強く要請されている。

本稿では、オールコークス操業のかかえる問題点、特に周辺ガス流の衰えについて詳しく検討すると共に、同問題に対する改善技術として高被還元性焼結鉱を用いた粒度別装入法をとり上げ、実炉への適用を図ったので、その内容を報告する。

### 2. オールコークス操業の問題点

オールコークス操業によって生ずる問題点については、既に数多くの報告がある。<sup>1), 2)</sup>これを要約すると図-1の如く整理される。主要な項目として、次の諸点があげられる。

- 1) ore/coke比減に伴う装入物分布制御性の悪化。
- 2) 熱流比増加に伴う炉壁側温度低下。
- 3) 羽口先へのコークス供給量増加や羽口先温度上昇による炉下部状況の悪化。

オールコークス操業が前提の場合、3)の項目は必然的に生ずるもので、これを全面的に解消するには燃料吹込み等の代替技術を新たに必要とする。

1), 2)に対する改善項目としては、装入物の品質向上や炉内での分布形態の適正化があげられる。

オールコークス操業の改善に先立ち、問題点を定量的に把握すべく炉内状況の解析を行なった。

#### 2-1 装入物の炉内分布形態の変化

装入 ore/coke 比減に伴う炉半径方向の ore/coke 比分布とガス流速分布の変化を図-2に示す。この図は、装入物分布実験の知見をもとに開発した数式モデルを用いて実高炉内の状況を推定したものである。図から明らかなように、ore/coke 比の低いオールコークス操業では、中心ガス流が強まり、周辺ガス流が衰えることが判る。これは炉中心部の鉱石層厚低下と炉半径方向の粒度偏析の増加によるものである。このような炉半径方向における装入物分布の不均一性の拡大は、当然ながら分布の制御性を悪くする。

#### 2-2 炉内ガス流分布の変化

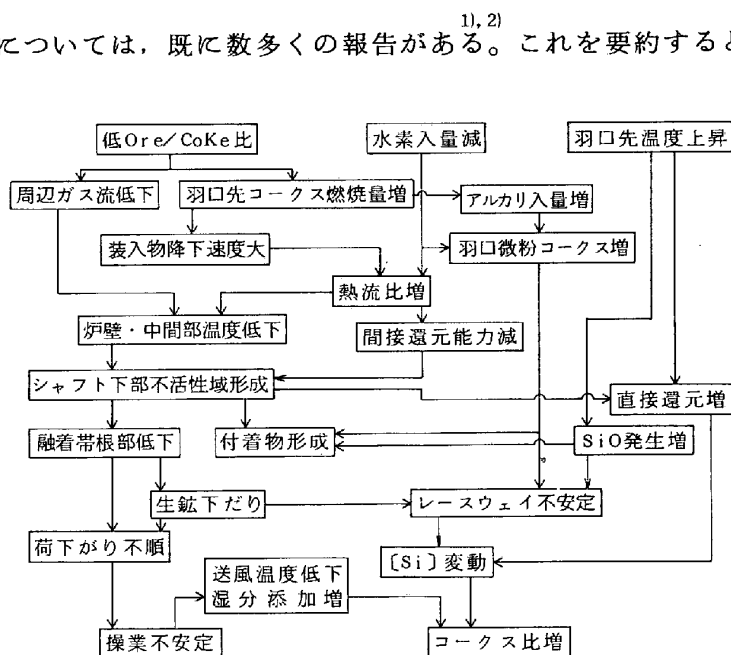


図-1 オールコークス操業の問題点に係る思考フロー

装入物分布変化による炉内ガス流分布への影響について、有限要素法を用いた数式モデルで解析した。その結果例を図-3に示す。装入物分布条件や融着帯形状は、モデル実験結果より与えた。図より明らかなように、ore/coke比の低いオールコークス操業では、シャフト下部に至るまで、炉壁部から中間部にかけてガス流が弱まることが推測される。

この状態を実高炉で検証すべく、オイル吹込みとオールコークス操業時期の室蘭高炉に垂直ゾンデを挿入した。測定は炉壁部で行なった。代表的な推定値を図-4に示す。

オールコークス操業下で得られた測定値の特徴的な点は次の通りである。

- 1) 炉壁部の昇温速度は、低 ore/coke 比にもかかわらず予想以上に小さい。
- 2) 炉壁近傍の熱流比が高いと考えられる操業下では、600℃前後に新たな熱保存帯が見られ、2段の昇温カーブを示すケースもある。
- 3) 1000℃前後の熱保存帯でのガス利用率はオイルの吹込み期より高目にある。

これらは、いずれも炉壁部の領域でガス流が衰えたことを示唆するものと判断された。<sup>3)</sup>

2-3 炉下部ガス温度の変化

上述した如きガス流分布の変化は、必然的に炉下部炉壁近傍で装入物の還元停滞を招き、融着帯根部のレベル低下をもたらすことが予想された。

このレベル変化を知る一手段として、シャフト下段水平ゾンデ（短尺型）を用いてガス温度、成分変化を調べた。レベル変化を示す指標としてガス温度分布に注目し、操業因子との対応を調べた。この結果、ガス温度が低く、かつ炉壁から中間部にかけて温度が下がる場合に荷下がりが不順や〔Si〕変動が増大することが確かめられた。

このように、オールコークス操業では装入物分布に起因する炉壁部から中間部にかけてのガス流の衰えが大きな問題点であると判断された。

3. 焼結鉱粒度別装入法による改善

炉壁部から中間部にかけてみられるガス流の低下、即ちこの領域の高熱流比状況を改善するには、図-5に示すように空隙率の向上が期待できる焼結鉱の粒度別装入法が有効であると考えた。この方法は、同時に鉱石類の層厚と粒径分布が独立して制御できる点に大きな特徴がある。<sup>4), 5)</sup>

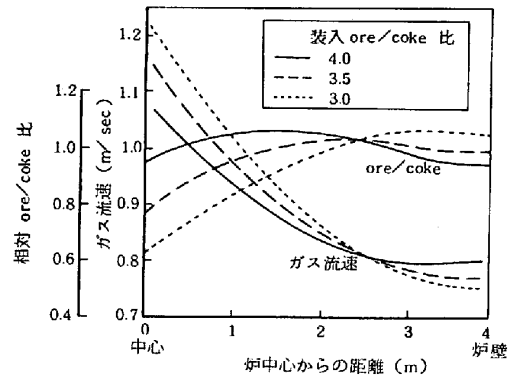


図-2 装入 ore/coke 比減による ore/coke 比分布とガス流分布への影響（炉頂部）

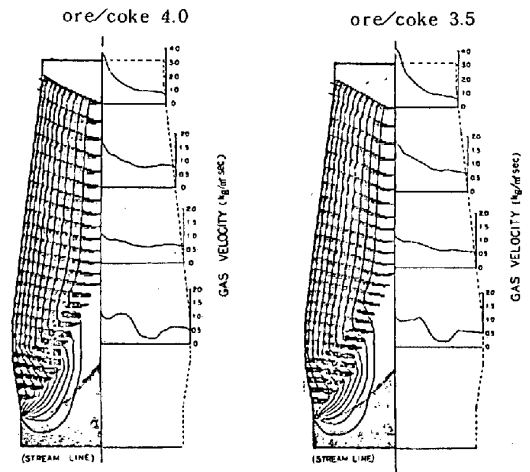


図-3 装入 ore/coke 比の差異による炉内ガス流分布への影響（有限要素法）

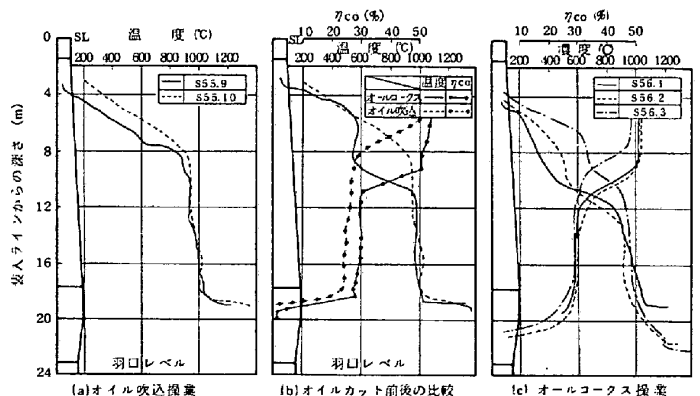


図-4 オイル吹込みおよびオールコークス操業期に於ける垂直ゾンデ測定例（室蘭第4高炉）

ここでは焼結鉱を粗粒と細粒に2分して装入する方法を実用化し、高炉への適用を図ったので、以下にその概要を報告する。

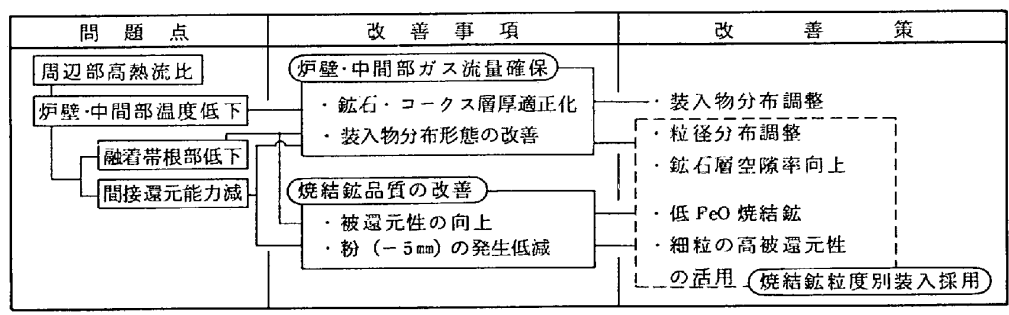


図-5 焼結鉱粒度別装入法による改善フロー

本装入法の適用に当って、望まれる被還元性の良い低FeO焼結鉱の製造については、既に第101回の本討論会で報告しているので省略する。

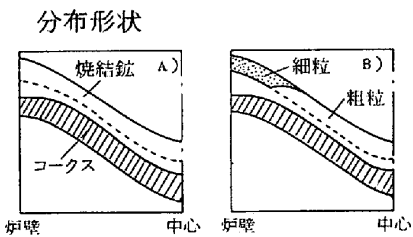
事前検討 細粒と粗粒の焼結鉱の性状は区分される量比によって異なるが、その一例を表-1に示す。

表-1 細粒・粗粒焼結鉱の性状

	算術平均径	CaO/SiO <sub>2</sub>	FeO	被還元性	TI	RDI	空隙率
通常焼結鉱	212mm	1.46	53.2%	65.8%	67.5%	31.7%	47.3%
細粒焼結鉱	13.7	1.46	53.0	70.1	67.2	27.6	4.65
粗粒焼結鉱	287	1.47	53.3	60.4	67.8	37.3	49.9

通常焼結鉱にくらべ、粗粒焼結鉱は空隙率が大きく、細粒焼結鉱は被還元性が良好なことが判る。なお、両者の成分上の差異は殆んどないが、高温性状は当然ながら細粒焼結鉱の方が良好である。

細粒と粗粒に区分した焼結鉱の装入法について、事前に多くのモデル実験を行なった。これより、細粒焼結鉱を炉壁部にとどめ、かつこの領域の鉱石層厚を薄くする装入法が望ましいことを確かめた。図-6にモデル実験結果の一例を示す。



層厚分布と粒径分布

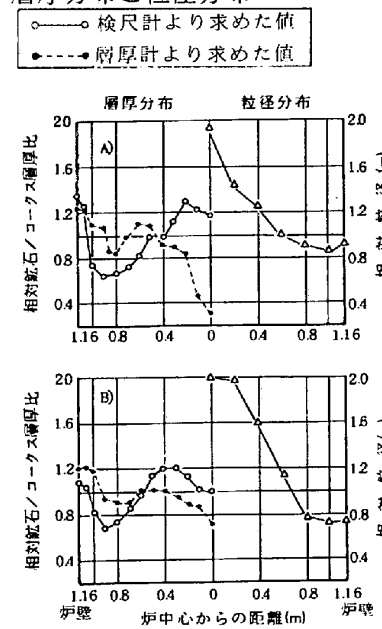


図-6 装入物分布実験結果 A)通常装入,B)粒度別装入

このような粒度別装入法をとることにより、次のような改善効果が期待できる。

- 1) 炉中心部では、コークスの流れ込みが抑えられると共に、コークス層が粗粒焼結層と接するので混合層の形成を少なくする。
- 2) 周辺ガス流抑制のためにとられた炉壁側近での鉱石層厚の増加は、細粒焼結鉱の同領域への装入によって不必要となる。このため、炉壁部の高 ore/coke 比が解消できる。
- 3) 粗粒焼結鉱は空隙率が大きいいため、炉中心部に厚く堆積しても中心ガス流は抑制されない。

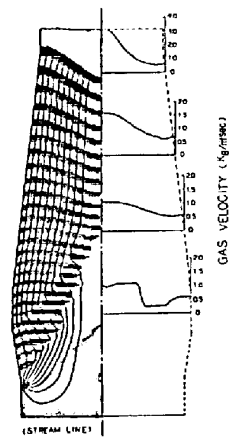


図-7 粒度別装入適用時の炉内ガス流分布 (有限要素法)

粒度別装入法を適用した場合の炉内ガス流分布を数式モデルで推定した結果例を図-7に示す。炉中間部のガス流の発達を期待できる。

以上の知見をもとに、オールコークス操作下の室蘭高炉に焼結鉱の粒度別装入法を適用した。

高炉への適用 室蘭第4高炉への適用結果を表-2に示す。粒度別装入においては、①細粒と粗粒の焼結鉱の量比とその調整、②両焼結鉱の装入位置、③炉壁部の ore/coke 比、④ガス流分布(炉径方向のガス温度・成分分布)に管理の重点を置いた。表から明らかのように、粒度別装入法の適用によって、

コークス比の低減，通気性の向上，送風圧変動の減少，[Si]Rの減少などの効果が得られた。S56年7月には，コークス比の低減を積極的に進め，オールコークス操業下でも450 Kg/t-p以下のコークス比を得ることができた。

**炉内状況** オールコークス操業で顕在化した炉壁部と中間部のガス流の衰えが粒度別装入の適用によって改善されたことを各種ゾンデで確かめた。図-8に炉頂ゾンデと垂直ゾンデの測定例を示す。

炉頂ゾンデでは，炉半径方向のガス利用率分布がほぼフラットなパターンを示している。また，垂直ゾンデでは，二段に生ずる昇温曲線が余り見られなくなると共に，融着帯根部上端位置（ガス温度急上昇位置）も図-4とくらべレベルが高くなっている。

これらの結果はいずれもガス流が炉壁部と中間部にまわるようになったことを示すものと判断された。また，垂直ゾンデで検知されたガス圧力分布から数式モデルで融着帯形状を推定した。

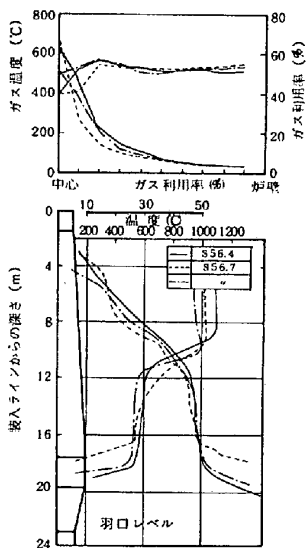


図-8 粒度別装入時の炉頂ゾンデ測定結果 (室蘭第4高炉)

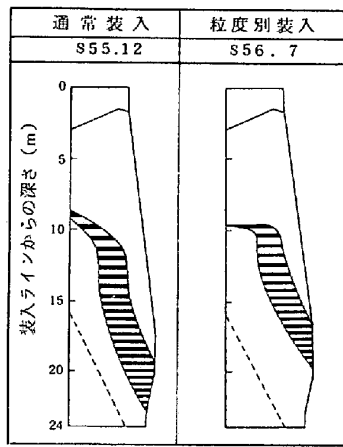


図-9 静圧モデルによる融着帯形状の変化 (室蘭第4高炉)

表-2 室蘭第4高炉操業データ

		通常装入		粒度別装入	
		S55.12	S56.2	S56.5	S56.7
コークス比	Kg/t-p	468	461	459	448
Ore/CoKe比	-	344	347	348	360
焼結鉱使用比	%	89.6	90.7	88.5	97.0
粗粒/細粒量比	-	-	-	34	3.2
焼結鉱中FeO	%	56.7	56.3	53.5	52.7
炉頂ガス温度	°C	105	100	89	114
炉頂ガス利用率	%	50.5	51.3	51.5	51.9
通気抵抗	K	415	437	3.87	3.41
送風温度	°C	1129	1107	1182	1202
送風湿分	g/Nm³	192	230	261	228
[Si]	%	0.72	0.63	0.72	0.47
[Si]R	%	0.53	0.45	0.43	0.33
送風圧変動率	-	0.072	0.075	0.060	0.059
シャフト効率	-	0.93	0.94	0.94	0.98
直接還元率	%	33.5	32.0	32.4	32.8
熱損失	$\times 10^3 \frac{Kcal}{t-p}$	271	273	261	258
補正コークス比*	Kg/t-p	468	465	464	458

\* 装入原料，送風条件補正值

その結果を図-9に示す。図から明らかのように，融着帯頂部レベルが下がり，根部レベルが上がるパターンを示している。また，根部と炉芯コークス層間も広がり，この領域で生ずるとされるコークス流れの停滞も一層緩和されることがうかがえる。

### 5. 結 言

オールコークス操業では，低 ore/coke比にもかかわらず，炉壁部での装入物の昇温速度は予想以上に小さく，周辺ガス流の衰えが顕著である。これは，装入物分布の制御性悪化に由来する所が大きく，分布形態の改善が必要となった。このため 装入物層厚と粒径が独立して制御でき，かつ細粒の被還元性，粗粒の空隙率の増加が期待できる焼結鉱の粒度別装入法の実用化を図った。本法を室蘭高炉に適用した結果，中心ガス流を抑制することなく望ましい周辺ガス流を

得ることができ，コークス比の低減，通気性の改善を図ることができた。

### 参考文献

- 1) 石川，徳永，久保，青野，島野：鉄と鋼，(1981)，S6
- 2) 梶川，中島，岸本，酒井，斉藤，鴨志田：日本鋼管技報，87(1980)，P1~11
- 3) 入田，磯山，長谷川，奥野，三国：鉄と鋼，67(1981)12，S775
- 4) 磯山，近松，斉藤，奥野，今井，須沢：鉄と鋼，67(1981)4，S83
- 5) 奥野，入田，磯山，三国：鉄と鋼，67(1981)12，S707